

# 安全韧性导向下全球海洋中心城市绿色基础设施规划的国际借鉴

## International Experiences on Green Infrastructure Planning for Global Oceanic Center Cities Under the Guidance of Safety and Resilience

林小如 李洋 文超祥 徐铭晖

LIN Xiaoru, LI Yang, WEN Chaoxiang, XU Minghui

**摘要：**全球海洋中心城市是以海洋资源为依托，在全球航运、海洋产业、海洋科技与海洋治理等方面具备区域核心竞争力，进而辐射全球的枢纽型城市。陆海交互影响下的自然和经济地理区位、高密度的人居环境以及快速向海的发展趋势，使其在高质量发展过程中面临更大的生态环境威胁和灾害风险挑战。绿色基础设施作为城市有机生命体重要的支撑系统，是全球海洋中心城市安全韧性发展的重要保障。笔者立足全球海洋中心城市三个特征内涵——全球性、中心性和海洋性，以荷兰鹿特丹和海牙、德国汉堡以及新加坡为例，分别从枢纽、网络、界面三个维度，解析其绿色基础设施应对海洋自然灾害胁迫和人工开发建设压力的空间响应机制，并基于枢纽适应性、网络承载力和界面融合度三个方面，提出我国全球海洋中心城市绿色基础设施的安全韧性规划建议。

**Abstract:** Global Oceanic Center Cities are coastal cities that rely on marine resources and possess regional core competitiveness in global shipping, marine industries, marine science and technology, and ocean governance, thereby serving as hub cities that radiate influence globally. The natural and economic geographical location, high-density living environments, and rapid seaward development trends, shaped by the interaction between land and sea, pose greater ecological and environmental threats as well as disaster risk challenges during the process of high-quality development. Green infrastructure, as a vital support system for the organic functioning of cities, is crucial for ensuring the safe and resilient development of Global Oceanic Center Cities. This paper focuses on the global, central, and marine characteristics of these cities, using Rotterdam, Hague (Netherlands), Hamburg (Germany), and Singapore as case studies, and analyzes the spatial response mechanisms of their green infrastructures to the pressures of marine natural disasters and anthropogenic development. By examining hub adaptability, network carrying capacity, and interface integration, this paper offers planning recommendations for enhancing the safety and resilience of green infrastructure in China's Global Oceanic Center Cities.

**关键词：**安全韧性；全球海洋中心城市；绿色基础设施；规划策略；国际经验

**Keywords:** Safety and Resilience; Global Oceanic Center City; Green Infrastructure; Planning Strategy; International Experience

国家社科基金重大研究专项 (22VHQ009)

**作者：**林小如，厦门大学建筑与土木工程学院，福建海洋可持续发展研究院（厦门大学），副教授，博士生导师；厦门大学规划设计研究院，副总规划师；中国城市规划学会山地规划分会委员会、规划实施分会委员会，青年会员。linxiaoru@xmu.edu.cn

李洋，厦门大学建筑与土木工程学院，硕士研究生。1253475619@qq.com

文超祥（通信作者），厦门大学建筑与土木工程学院，教授，博士生导师；中国城市规划学会理事。2476191940@qq.com

徐铭晖，厦门大学建筑与土木工程学院，博士研究生。xuminghui199812@163.com

## 引言

全球海洋中心城市作为陆海大区域的要素流通枢纽，是具有海洋资源禀赋和海洋产业优势的滨海城市，也是对全球海洋经济活动具有重大影响的国际大城市<sup>[1]</sup>。在气候变化趋势和经济全球化的背景下，全球海洋中心城市面临一系列挑战。一方面，全球海洋中心城市通常位于河口三角洲、海湾或沿海低洼平原地带，受到海平面上升和极端天气灾害事件的直接威胁<sup>[2]</sup>；另一方面，全球海洋中心城市承载着高密度的人口和高强度的工业活动，面临着空气质量恶化、水体污染和陆海资源过度开发等一系列风险<sup>[3]</sup>。为应对上述挑战，国际上已开展多种生态实践探索，包括构建蓝绿基础设施网络、修复滨海湿地、强化城市雨洪管理等。其中，荷兰海牙“沙引擎”人工养滩、纽约“Big U”动态防护海岸、汉堡潮汐湿地修复等实践表明，嵌入生态过程的绿色基础设施可同步提升城市防灾韧性与环境质量。绿色基础设施作为城市有机体的“生命支持系统”<sup>[4]</sup>，对提升城市生态服务功能和保障滨海城市发展具有重要意义。2022年，政府间气候变化专门委员会（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）第六次评估报告指出，全球变暖正以前所未有的速度发生，气候环境的不稳定性加剧<sup>[5]</sup>，而滨海绿色基础设施建设能够提升城市应对典型海洋灾害风险的能力。《世界银行基于自然的韧性城市解决方

案》也指出，亟须利用自然过程来建设韧性安全的绿色基础设施<sup>[6]</sup>，以应对日益严峻的气候变化与灾害风险挑战。

21 世纪初以来，欧盟将绿色基础设施整合到海洋城市空间规划和区域发展中，制定了“自然 2000” (Natura 2000) 政策和绿色基础设施战略<sup>[7]</sup>，旨在跨国界统筹陆海生态资源，实现自然资产保护与经济效益增长的双重目标。德国汉堡、丹麦哥本哈根、新加坡等全球海洋中心城市也纷纷着力于安全韧性的绿色基础设施建设，以支撑其可持续发展战略<sup>[8,9]</sup>。与之相比，我国针对绿色基础设施的设计规范和指引性文件较少，针对滨海城市地理环境特征和人海交互风险的绿色基础设施规划响应研究也相对不足。

目前，建设全球海洋中心城市已成为海洋强国战略和“一带一路”倡议的重要议题。2016 年，国家发展和改革委员会和原国家海洋局联合发布的《全国海洋经济发展“十三五”规划》明确提出，推进上海、深圳等城市建设全球海洋中心城市<sup>[10]</sup> (表 1)。然而，全球海洋中心城市由于港城关系复杂、资源要素集聚、快速向海发展等特征，对滨海绿色基础设施的安全韧性布局提出了更高要求<sup>[11]</sup>。为高效发挥沿海城市绿色基础设施的生态蓄容功能和安全防护作用，需要深入探讨绿色基础设施对全球海洋中心城市可持续发展的支撑作用及其空间优化策略。笔者基于全球海洋中心城市绿色基础设施安全韧性的逻辑框架，针对我国沿海城市关键的脆弱性风险，借鉴国外典型的全球海洋中心城市绿色基础设施规划实践案例，总结滨海绿色基础设施安全韧性规

划的理论要旨及其空间布局要点，希望为我国全球海洋中心城市建设提供参考。

## 1 全球海洋中心城市与绿色基础设施规划

### 1.1 全球海洋中心城市的概念特征和安全保障需求

全球海洋中心城市的概念源于 2012 年挪威咨询机构——梅农经济 (Menon Economics)、挪威船级社 (Det Norske Veritas) 和德国劳氏船级社 (Germanischer Lloyd) 联合发布的《世界领先海事之都》(The Leading Maritime Capitals of The World)<sup>[12]</sup>。“全球海洋中心城市”是指在全球航运、海洋经济、海洋科技、海洋治理及其他海洋专业化服务方面具有领先地位的城市，其特征具体包含三个方面：一是全球城市属性。在经济全球化和市场一体化驱动下，全球海洋中心城市是全球资本、商品、服务、信息和人力资源流动的核心枢纽<sup>[13]</sup>。这些城市不仅是全球性服务功能的集聚地，还设有国际海港或空港，是全球物流集散地。二是中心城市属性。在经济发展优势和人口集聚驱动下，全球海洋中心城市在陆海大区域范围内呈现较高的功能集聚度、综合辐射力和影响能级水平<sup>[14]</sup>。它们往往是区域政治、经济、文化、金融中心，更是世界海洋城市网络体系的重要节点。三是海洋城市属性。在临海地理区位和海洋资源优势驱动下，全球海洋中心城市具有显著的向海发展态势<sup>[15]</sup>。这些城市通过充分挖掘港口、海岸、岛屿及其海域空间潜力，沿海高强度布局商业商务、城市居住以及相关的海洋产业功能区，推动海洋

表 1 我国沿海大城市打造全球海洋中心城市的目标定位和安全韧性发展要求

城市	核心问题和风险挑战	目标定位	安全韧性的发展目标	政策文本
上海	气候变化下的海水倒灌威胁； 高密度人居环境的空间承载压力； 港口使用效率和航运碳排放问题	海洋资源管控科学有效，海洋生态空间品质提高， 海洋经济质量效益提升，海洋灾害防御能力增强； 全球海洋中心城市能级稳步提升	国际航运中心、绿色发展、 生态开放、安全韧性	《上海市海洋“十四五” 规划》
深圳	土地资源紧张和生态环境压力； 陆海生态连通性问题； 极端天气的灾害应对问题	建设具有竞争力、创新力、影响力的全球海洋中心 城市；全球海洋经济引领者、全球海洋科技创新标杆、 全球海洋文明示范区和全球海洋协作主平台	国际航运中心、绿色发展、 生态安全、高效集散	《深圳市海洋发展规划 (2023—2035 年)》
宁波	临港工业扩张的空间和环境压力； 海洋资源消耗和生态承载力问题； 海洋灾害响应问题	卓越的海洋经济中心、特色鲜明的海洋科创中心、 包容共享的海洋文化交流中心、风情独具的滨海 旅游城市	世界一流强港、海洋生态安 全修复、防灾减灾系统治理、 高效集疏运网络	《宁波市海洋经济发展 “十四五”规划》
广州	涉海产业空间布局低效； 港区产城分割和低碳化转型滞后问题； 流域内涝和水灾问题	海洋科技创新策源地、涉海资源要素配置中心、南海 综合开发先行区、海洋产业集群高地和海岸带 高质量发展示范区	国际航运枢纽、生态优先、 绿色低碳、供应链网络保障	《广州市海洋经济发展 “十四五”规划》
青岛	海岸线资源过度开发，生态系统功能退化； 海洋产业与生态保护矛盾问题； 寒潮和北方海洋气候对海洋航运业的影响	国际海洋科技创新中心、国际航运贸易金融创新 中心、国家深远海开发战略保障基地、全球海洋 治理示范区和海洋经济区域协调发展示范区	国际航运中心、生态修复、 绿色发展、高效集散	《青岛市“十四五”海洋 经济发展规划》
厦门	城市生态保护与滨海资源开发协同压力； 土地资源紧张和陆海珍稀生物亟须保护； 海洋气候灾害频发的安全防护问题	特色鲜明的现代化湾区、国家海洋高端产业基地、 国际滨海旅游名城、东南国际航运中心和国际海 洋治理典范城市	国际航运中心、绿色港口、 海洋强市、生态韧性	《厦门市海洋经济发展 “十四五”规划》

资料来源：作者绘制

渔业、航运等传统产业与海洋金融、海洋科技等海洋新兴产业协同发展<sup>[16]</sup>。

由此，在健全全球海洋城市网络服务体系的需求下，强化海洋航运枢纽的区域能级是推动全球海洋中心城市竞争力提升的重要支撑<sup>[17]</sup>。在高密度滨海人居环境建设过程中，提高城市生态环境承载力和陆海大区域交通网络化水平是保障资本、信息、人才和技术等要素高效流通和安全运转的关键<sup>[18]</sup>。在持续向海发展的趋势下，增强海洋城市滨海界面重要产业应对海平面上升和海洋气候灾害风险的适应能力是海洋城市社会经济可持续发展的保障。

## 1.2 依托绿色基础设施全球海洋中心城市的韧性发展转向

绿色基础设施是海洋城市安全韧性发展的重要支撑。目前学界关于绿色基础设施的定义在不同区域和尺度有较大的差异，如大型的生态湿地和小尺度的垂直绿化，但通常指的是利用自然过程来保护、恢复和模拟自然生态功能，以提供城市基础服务，应对城市灾害风险，节约城市管理成本的设施系统<sup>[19-21]</sup>。作为连接自然环境与人类发展的桥梁，绿色基础设施在提高城市安全韧性方面具有应急韧性和发展韧性两方面作用<sup>[22-23]</sup>：前者属于应急响应，对维护城市的安全底线至关重要；后者作为常态响应，是助力城市实现可持续发展的关键。

随着全球气候变化的加剧和滨海地区城市化进程的加快，全球海洋中心城市安全韧性目标已从最初的单一稳态转变为过程的持续适应，从恢复原始状态到适应系统变化<sup>[24]</sup>。针对全球城市、中心城市、海洋城市这三个重要属性，全球海洋中心城市需要依托韧性安全的绿色基础设施，提升全球核心枢纽功能、区域网络支撑水平和海洋灾害风险应对能力<sup>[25]</sup>。第一，在全球贸易模式变化的环境影响下，越大的辐射能力需要越高的安全要求，因此需要优化港口体系，构建绿色高效的港口枢纽，增强全球航运中心的稳定性。第二，作为海洋资源要素的集聚中心，越强的海洋产业需要越高的要素流通需求，因此需要依托互联互通的蓝绿网络提升区域要素流动效率与资源环境承载力，提高对周边区域的辐射带动能力。第三，在日益严峻的海洋气候灾害风险下，越强的中心能级面临越大的沉没成本，因此需要依托绿色基础设施保障安全韧性的滨海人居环境。综上所述，滨海绿色基础设施的韧性发展转向，将成为全球海洋中心城市海洋经济更加繁荣、生态治理更加科学、人与自然更加和谐的重要支撑。基于此，笔者构建了从“全球海洋中心城市特征属性”到“安全韧性发展现实需求”再到“绿色基础设施支撑响应”的逻辑框架（图1）。

## 2 全球海洋中心城市绿色基础设施韧性规划实践

针对全球性、中心性和海洋性等三个核心特征，本文从港口枢纽、蓝绿网络和滨海界面三个维度对全球海洋中心城市展开绿色基础设施安全韧性规划路径和方法的研究；通过深入分析荷兰鹿特丹、德国汉堡和新加坡等全球海洋中心城市绿色基础设施典型案例，为我国全球海洋中心城市的安全韧性发展提供经验借鉴。

### 2.1 绿色高效的港口枢纽

荷兰鹿特丹港位于莱茵—马斯三角洲，是欧洲最大的港口之一，自14世纪以来逐渐从小渔村发展为全球物流中心<sup>[26]</sup>。随着全球气候问题日益严峻，如何实现港区工业与自然的和谐共存成为鹿特丹港规划的重点。鹿特丹港务局曾明确指出，“鹿特丹港既是工业区，也是自然生态保护区”<sup>[27]</sup>，经济进步固然重要，但绝不能以牺牲自然和港口工业区的生活环境为代价。为此，《鹿特丹港自然愿景》规划文件明确提出了高效集约、双向适应的绿色港区建设要点。政府一方面通过高效集约的渐进式规划建设<sup>[28]</sup>，提高港口空间使用效率；另一方面，通过人工建设与自然环境双向适应的生态管理策略（表2），撬动港区绿色发展。

#### 2.1.1 高效集约的绿色港区

鹿特丹港通过制定长远规划实现港区的渐进式生长，推动港区与自然协同发展。首先，依托自然力量开展港区围填海工程。通过建设土堤、圩田等改变海洋水动力，实现泥沙的自然沉积，进而控制围填海空间的自然生长<sup>[29]</sup>。渐进式的港区储备不仅有助于减少剧变式的大规模围填海工程对于生态环境的负面影响，还能利用自然力量降低港区建

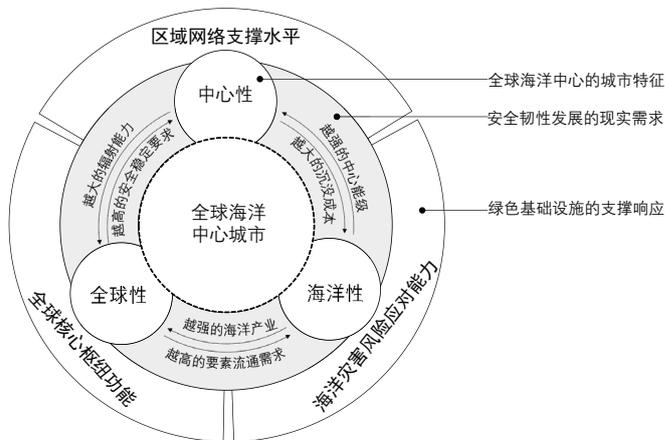


图1 全国海洋中心城市的概念特征和安全韧性需求

资料来源：作者绘制

设成本，从而提高综合经济效益。其次，对于周边尚未开发的区域采取“去人工化”的管理方式，通过保留原有的自然景观来保护生态空间连通性，维持生态系统稳定性<sup>[24]</sup>。例如：鹿特丹在西部港区通过分阶段割草的方式为港区生物提供自然栖息地，并积极应对如日本虎杖等外来物种入侵，确保生态系统的平衡。这些未开发的自然区域不仅是生态保护区，也是重要的城市发展空间储备资源，能够为未来港区的扩展和城市开发提供弹性空间，推动港区高效集约化发展（图2）。

### 2.1.2 双向适应的生态闭环

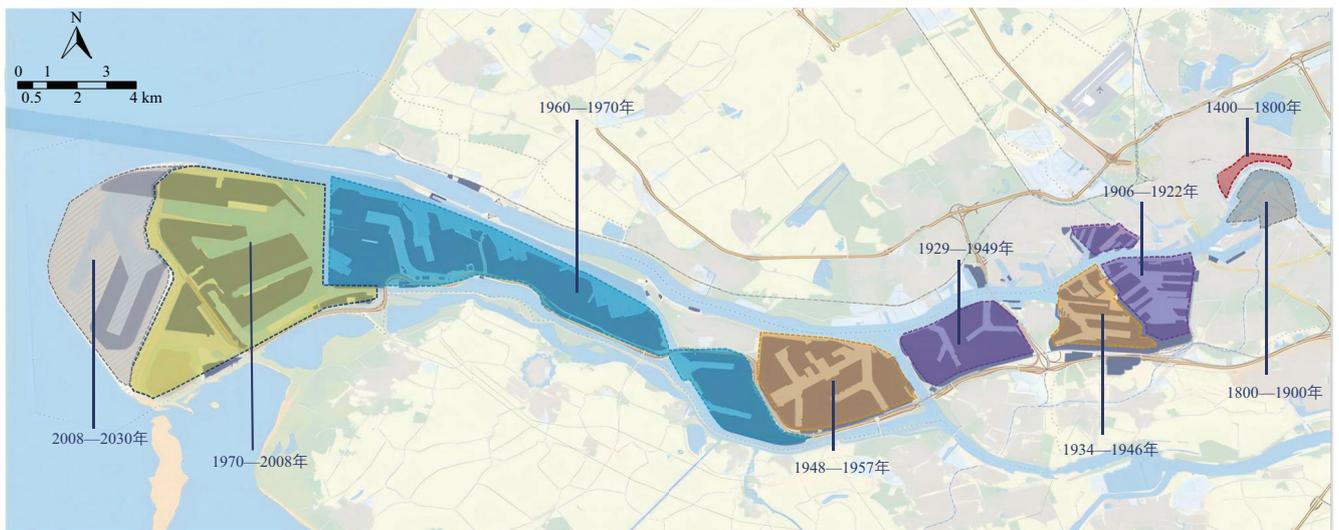
通过引导自然与人工双向适应的生态修复工程，鹿特丹

港实现了港区经济活动与生态环境保护的动态平衡。一方面，采取基于自然的生态修复技术，对港区及其周边生物岸线、人工鱼礁和潮汐湿地进行生态修复，增强港区堤岸和陆海空间的生物多样性；通过广泛应用垂直绿化、第五立面和生态湿地等绿色基础设施，形成生态“踏脚石”，为各类沿海物种（如洄游鱼类、蚌类）和滨海生物（如多种鸟类）等提供高质量的人工栖息环境，拓展生物的迁徙通道，增加多元物种的繁衍机会。另一方面，基于生态系统循环理念，引入具有净化功能的本土物种，消纳和分解人类活动带来的人海污染物，减少港区产业活动对环境的负面影响。同时，人与自然互利共赢的生态闭环也提升了港区在应对赤潮和燃油泄漏等海洋灾害时的安全韧性。

表2 鹿特丹港不同分区的规划愿景和生态管理策略

分区	2030 愿景	主要物种特征	应对措施和生态管理策略
西部港区	设计为连接周边自然区的生态走廊，将沙丘景观融入商业园区，为稀有植物和野生动物提供充足空间	稀有草本植物、蝴蝶、沙蜥等	生态管理优先，分阶段除草剪屑，保护生物多样性；主动清除外来入侵物种，如日本虎杖（原产于日本的蓼科植物）等；生物和植物的广泛监测，确保适宜管理措施的执行
东部港区	将发展成城市生态系统，适宜蝙蝠、麻雀和其他强适应性的物种生存	蝙蝠、麻雀、濒危的荨麻和蕨类植物等	在基础设施设计阶段考虑生态环境，促进植物和动物的发展；招标过程中评估客户的自然保护与发展措施；建设绿色屋顶，以增强生物多样性并作为鸟类迁徙的“踏脚石”
港区整体	构建港口发展与生态保护双向适应的模式，协同推进海洋与陆域生态系统共生，成为兼具生物多样性与可持续发展的示范区域	海洋类消纳分解生物（如海草床、贝类、海绵和底栖生物）与陆域类消纳分解生物（如腐生菌、土壤微生物和分解类昆虫）	建立生态步道点作为动植物迁徙的中转站；维持新水道向海洋的开放连接，确保鱼类迁徙路线畅通；建立多维生态缓冲区，吸收和分解港口排放的污染物，同时为多样性生物提供栖息空间

资料来源：作者译自参考文献 [27]



图例  
 马斯弗拉赫特二期外海填海区 马斯弗拉赫特一期外海填海区 新水道下游深水岸线拓展区 博特莱克战后重建深水码头区 博特莱克-欧洲港石化区  
 埃姆哈芬早期仓储装卸拓展区 瓦尔哈芬-埃姆哈芬港市区 旧马斯河湾原始渔港区 新水道疏浚与下游迁移工程区

图2 鹿特丹港发展历程

资料来源：作者译自参考文献 [30]

## 2.2 互通互联的蓝绿网络

德国汉堡是河口型的全球海洋中心城市，蓝绿网络向外连接海洋生态系统，向内连接城市公园、绿地、河流和湖泊等自然空间，通过多功能的景观轴线和生态绿环，实现陆域、流域、河口、海域生态系统的有机联系<sup>[31]</sup>，提高全球海洋中心城市网络连通度、生态蓄容性和灾害风险承载力。

### 2.2.1 全域生态的基础设施网络

汉堡市通过构建两个城市绿环和 12 条景观轴，形成了一个融合蓝绿空间且覆盖全市及其周边地区的陆海大区域生态网络。一方面，汉堡市蓝绿网络促进生态空间与城镇空间的自然交融，有效提升了城市人居环境水平，强化了人才吸引力。两个绿环串联不同的郊区和城市公园，12 条景观轴从城市中心向外辐射，连接公园、湿地、河口等生态节点，构建了全域生态的基础设施网络。通过特色场景营造，也可提高生态空间价值。从城市中心的游乐场到城郊的大型森林和农田，包含多样的文化和自然体验，使得蓝绿网络层次丰富、功能多样。另一方面，具有高度连通性和可达性的蓝绿网络为陆海联通的航运条件提供了有力支撑。通过优化港口与内陆之间的交通网络布局和运输组织，实现了货物在陆海大区域的高效衔接和灵活转运<sup>[32]</sup>。高效的交通运输网络推动了区域海洋资源与要素的集聚，支撑了海洋金融、法律、船舶等产业的快速发展。因此，并不直接临海的汉堡市成为欧洲重要的陆海交通枢纽和全球排名第二的海洋中心城市。

### 2.2.2 融合自然的综合防灾系统

汉堡市将河流水系视为城市韧性发展的基底<sup>[33]</sup>，构建了与自然共生、平急结合的城市综合防灾系统。通过整合各类绿色基础设施，为城市应对自然灾害风险提供了强有力的支撑。一方面，以水为基础建立流域、陆域、海域的区域生态防灾体系。汉堡市依托易北河水系，构建起城市重要的洪水调蓄系统。通过提升主要水道的疏水能力，构建分级疏散水道，在雨季和洪水季节快速引导过量水流入海。另一方面，打造平急两用的城市防灾节点。例如：瓦登海国家公园（Hamburg Wadden Sea National Park）不仅是城市居民重要的休憩场所，更是应对洪水等自然灾害的重要蓄水池。依托其广阔的盐沼、泥滩和沙洲等潮汐生态系统，可吸收和缓冲潮汐能量，减缓波浪对海岸带的侵蚀<sup>[34]</sup>；通过光合作用吸收 CO<sub>2</sub>，可发挥其生态碳汇与气候调节作用；在极端气象灾害事件中，湿地和潮间带区域还可以作为洪水的天然蓄水池，起到调蓄和缓解洪水压力的作用。

## 2.3 安全韧性的滨海界面

经济合作与发展组织（OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development）发布的《海洋经济报告》（The Ocean Economy in 2030）显示，新兴的海洋产业不仅具有较高的经济价值和创新能力，还能有效应对能源安全、环境、气候变化和粮食安全等挑战<sup>[33]</sup>。然而，在灾害面前，越高的区域中心能级和越强的产业实力基础面临越大的经济社会沉没成本。因此，对于陆海系统交互作用最为活跃的全球海洋中心城市而言，安全韧性的滨海界面至关重要。

### 2.3.1 自然防御：“沙引擎”人工养滩实验

海牙市位于荷兰西南部海岸，是兰斯塔德（Randstad）城市圈的核心门户，沿岸分布有 50 万以上常住人口以及与鹿特丹港相关的高端服务业集群。由于海平面持续上升和入海沉积物不足，该地区的海岸侵蚀风险加剧。为了维护城市海岸线空间和滨海地区社会经济安全，抵御洪水灾害的威胁，荷兰政府每 3~5 年就需从北海深处采集海沙，对遭到侵蚀的沙滩进行定期修复<sup>[35-36]</sup>。然而，频繁的海滩养护打破了海洋自然生态系统的平衡。在此背景下，荷兰三角洲委员会创新性地开展了“沙引擎”人工养滩实验<sup>[37-38]</sup>。通过在代尔夫兰海滩区域堆积大型沙丘，创建一个巨型人造半岛，从而改变海洋局部的水动力条件。随着时间的推移，这些沙丘在风、波浪和水流的作用下沿海岸自然分散，逐渐形成新的低沙丘（图 3）。新沙丘不仅降低了海岸侵蚀风险，还成为居民休闲娱乐的场所，同时也为野生动植物提供了栖息地，提高了城市滨海界面的活力和生物多样性。总体而言，“沙引擎”项目巧妙利用自然力量，实现了护岸安全、生态保护与滨海活力协同提升的目标<sup>[39-40]</sup>。

### 2.3.2 动态适应：从垃圾填埋生态岛到空间生长资源岛

新加坡作为土地资源紧缺的全球海洋中心城市，600 多万的城市人口每天产生超过 2 万吨的垃圾量<sup>[41]</sup>。面对这一现实难题，新加坡政府开创性地提出将垃圾焚烧残余物转化为“可持续的空间再生资源”的生态发展策略。具体包含三方面的创举：一是动态消涨的空间储备。新加坡每天转运 2 098 吨的垃圾焚烧物至实马高岛（Pulau Semakau）进行填埋<sup>[42-43]</sup>。当实马高岛的填埋空间接近饱和时，岛上的泥灰资源被转运至新加坡本岛西海岸的临海工业发展用海进行离岛围填，转运清空后的实马高岛则进入新一轮的填埋储备和生态培育周期。这一过程巧妙地平衡了土地资源紧缺和巨量垃圾填埋需求。二是变废为宝的绿碳资源。将垃圾焚烧副产品转化为生态修复的营养底泥，在实马高岛大规模种植红树林，不仅稳固了新建的海岛堤防，还产生了可观的绿色碳汇，并

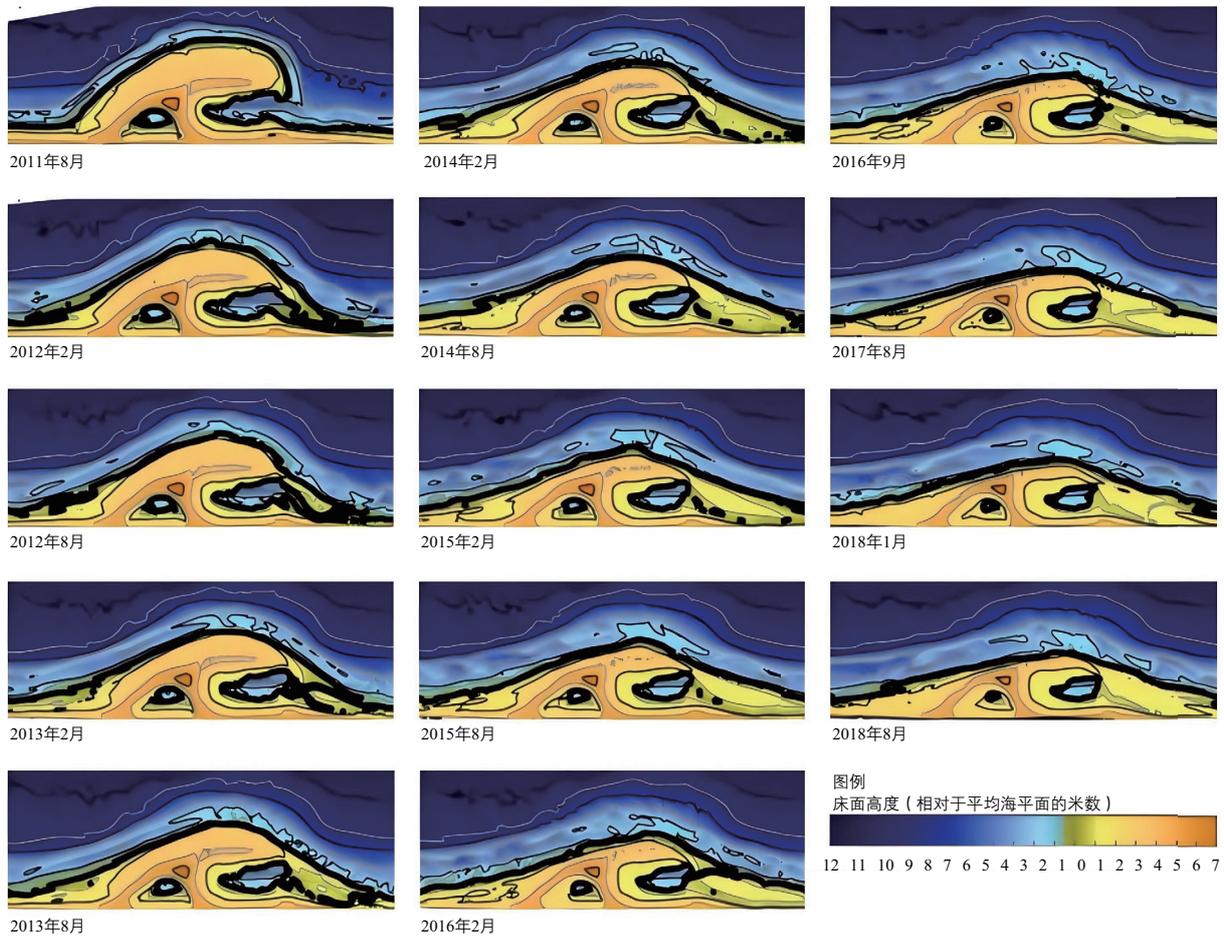


图3 2011年8月—2018年8月期间测量的海底水位  
资料来源：作者译自参考文献[40]

且使得该岛成为大都市近郊海岛型特色休闲活动空间。三是“长岛计划”的远景防护。为应对未来50年内海平面上升和极端气候灾害风险，新加坡的远景规划计划结合可持续的空间再生资源，于城市中心区海岸线向海一侧分期规划一座带状岛屿（Long Island），通过离岛围填的形式将其打造成高脆弱性海洋城市中心区的第二道滨海安全防护屏障（图4）。

### 2.3.3 以退为进：“还地于河”计划

荷兰鹿特丹作为世界重要的港口城市，其地理位置处于河流与海洋的交汇处，既是欧洲内陆与国际海洋经济的枢纽，也是全球气候变化和海平面上升挑战的前沿区域。1993年和1995年，连续降雨导致的洪水重创荷兰南部堤防。荷兰政府提出新的雨洪管理措施和风险评估机制，并于1996年修订了新的《防洪法》，正式开展“还地于河”计划<sup>[44]</sup>。鹿特丹通过退让部分沿海土地，兼顾防洪安全提升和生态景观保护的双重目标。其具体措施包括以下五点：（1）通过降低洪泛平原的水位，在洪水期提升河流的蓄水能力，减少上游

和周边区域的洪水风险，保障港口和物流功能的连续性；（2）在河流和海洋交汇处和沿海区域划定特定区域作为水缓冲区，这些区域在平时作为休闲娱乐区和自然保护区，在洪水期则可以存储过量的水流；（3）通过后移或加高沿海堤坝，扩大缓冲区宽度，提升对极端海洋条件的适应能力，保护城市关键港口和工业设施的安全；（4）通过加深现有侧渠或新建侧渠，在雨季和洪水季节快速引导过量水流入海，减少内陆主河道的压力，确保城市物流网络的畅通；（5）营建新的水道，允许洪水在不影响城市安全的情况下绕过密集居住区或关键基础设施区域。采用疏解或滞水的方式，鹿特丹让出更多的行洪空间给河流，营造了安全且富有魅力的城市滨河空间。

## 3 启示

基于以上对全球海洋中心城市绿色基础设施安全韧性规划响应的案例借鉴，国内滨海大城市在建设全球海洋中心城市的过程中，不仅要考虑城市在面临不确定性灾害风险时维

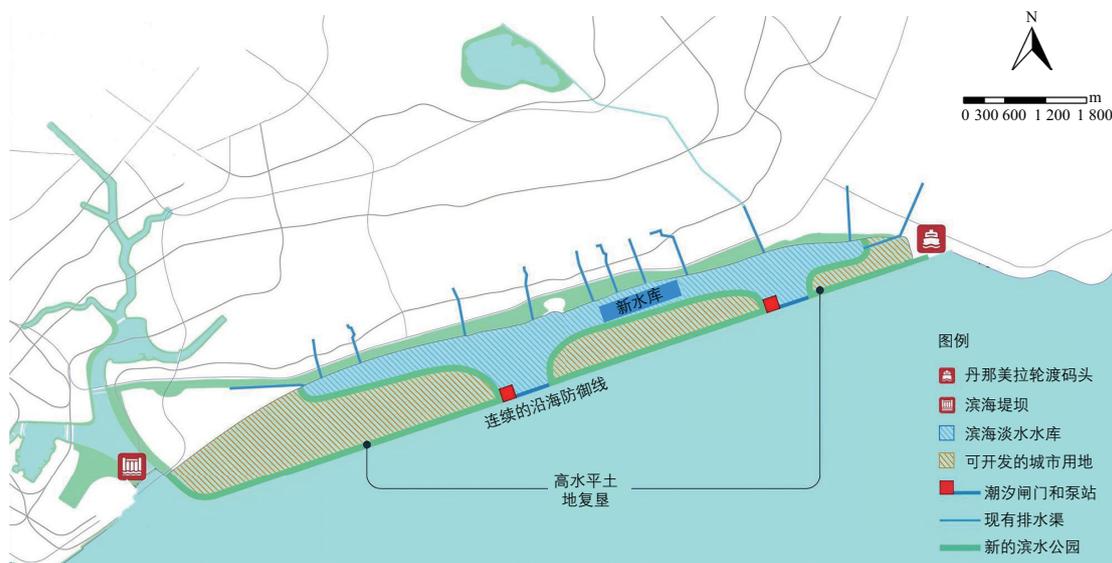


图4 新加坡长岛计划的空间示意图

资料来源：作者译自参考文献[40]

持社会经济结构稳定的能力，还要处理好城市作为区域经济要素流通枢纽的支撑需求<sup>[45]</sup>。因此，在海洋自然灾害频发趋势和建设海洋强国的战略背景下，笔者从枢纽适应性、网络承载力和界面融合度三个方面总结以下启示。

### 3.1 构建与自然共生的绿色港区，增强全球航运枢纽的稳定性

在全球海洋中心城市的发展进程中，港区绿色化、生态化转型不仅是响应国家“双碳”战略的必然要求，也是提升全球航运中心综合竞争力和促进海洋经济可持续发展的关键路径。然而，当前我国绿色港区建设仍面临诸多挑战。一方面，港区快速粗放的开发模式和分散低效的空间布局，导致深水港岸线资源损耗和优质滨海空间资源浪费；另一方面，港区工业活动和航运发展导致污染物排放压力大，使得港区所在的海湾、河口等陆海生态系统越发脆弱。

因此，我国亟须借鉴国外经验，立足本土实际，推动全球海洋中心城市港区绿色高效转型。首先，要加强港区的长远规划，提升管理效能，减少港口建设对陆海生态系统的影响。综合考虑港口发展规划，预留弹性生态空间，推进港区集约高效的渐进发展。例如：上海港在发展过程中，充分利用岸线和土地资源，优化港区布局，促进港口向规模化、集约化方向发展。针对战略性围填海工程项目，建议利用海洋水动力，引导自然沉积式的生态围填海模式，秉持低成本、高效益的理念，最大程度降低对生态环境的影响。其次，要加大对港口陆海生态环境的保护和修复力度。可借鉴鹿特丹港双向适应的海岸线生态保护与修复项目，打造低影响度的

港区空间环境；同时挖掘生态系统自净功能，定向消纳港区污染物，实现临港经济发展与生态环境的双向适应。

### 3.2 打造开放连通的蓝绿生态格局，提高区域中心城市的承载力

开放连通的蓝绿基础设施网络能够有效应对人口与资源高度集中所带来的环境压力，是提高区域中心城市整体效能和资源流动效率的支撑条件。近年来，我国部分滨海城市积极推进蓝绿网络的规划和建设。上海通过“滨水空间再开发”打造黄浦江、苏州河等入海江河沿线的生态廊道，平衡生态修复和功能转型需求。然而，其他沿海城市仍存在陆海分治、港城分离、低效治理等问题。

因此，需借鉴国外经验，推动蓝绿网络的陆海联动建设和开放创新发展。首先，建立陆海统筹的生态安全格局。例如：深圳市通过“山海连城”的城市发展计划，整合“山海林田湖草湿”全要素自然资源，构建“一脊一带十八廊”的全域生态安全网络结构，提高绿色基础设施生态调节和自我修复的防灾—应灾—适灾能力。其次，挖掘绿色基础设施的多元服务价值，促进港城空间的有机融合。例如：新加坡通过港城交界面的生态公园和绿廊规划，既缓解了临港工业区对城区的环境影响，也为临港城区提供了生态活力的休憩空间和舒适可达的绿色通道。第三，强化蓝绿网络对于海洋产业发展的支撑作用，提升全球海洋中心城市的竞争力。借鉴德国汉堡市，强化陆海联运的蓝绿交通网络体系。通过整治岸线、疏浚河道和生态调蓄等手段，构建联通城市内外的陆海航运“黄金水道”，推动资源要素在海洋中心城市枢纽的高效集散。

### 3.3 探索动态适应的滨海界面，提升海洋中心城市的应灾力

人与自然互动共生的滨海界面是促进全球海洋中心城市可持续发展的核心，也是维持城市经济和社会活动安全运行的重要屏障。我国海洋中心城市绿色基础设施建设已初步形成以蓝绿生态网络为骨架、生态修复区为重点、滨海防灾减灾项目为支撑的整体布局。然而，这些实践仍存在经济效益不佳、风险应对不足等问题。

为此，我国海洋城市应聚焦自身发展困境，探索安全韧性的适灾策略。首先，利用自然的手段开展生态修复和防护。例如：我国众多滨海旅游城市长期采取人工补沙等形式修复沙质岸线，综合效益不佳。可借鉴“沙引擎”人工养滩实验，通过改变局部海洋水动力，借助自然的力量实现对沙质岸线的生态修复。又如：采用生态护坡、人工湿地、红树林、海草床等自然或半自然的防护措施，构建更加韧性的滨海生态防灾系统。其次，借鉴动态适应的空间规划理念，针对我国海洋城市快速向滨海集聚的风险问题，在最为脆弱的高价值城市中心区向海一侧实施平急结合、多重预案的韧性安全防护计划，具体包括弹性可淹的生态缓冲区，刚性防护的应急防洪墙和双重防护的“长岛计划”等。最后，在土地价值不高且灾害风险显著的滨海区域，基于“以退为进”的理念，将空间还于自然。面对暴雨等极端天气频发，防洪压力显著的城市发展风险，通过适度撤退式的发展，预留更宽的缓冲区，减轻人口密集区的洪水风险。

## 4 结语

在全球气候变化和海洋生态环境日益严峻的背景下，安全韧性的绿色基础设施规划为全球海洋中心城市提供了一种主动适应气候变化、与自然协同发展的设施保障路径。全球海洋中心城市的安全韧性发展需要绿色高效的港口枢纽、互联互通的蓝绿网络，以及安全韧性的滨海界面。笔者围绕全球海洋中心城市全球性、中心性、海洋性特征，重点剖析了荷兰鹿特丹和海牙、德国汉堡以及新加坡等全球海洋中心城市绿色基础设施韧性安全的规划策略。从港口枢纽、蓝绿网络、滨海界面三个维度探讨了绿色基础设施在不同海洋中心城市的韧性防灾响应机制，以期为我国海洋中心城市绿色基础设施规划提供实践参考和方法借鉴。

全球海洋中心城市不仅是我国海洋强国建设的重要支点，也是构建双循环经济体系的重要载体。以上海、深圳等为代表的我国全球海洋中心城市，在海洋产业、海洋运输等方面已初步具备全球竞争力。然而，在海洋科技、海洋治理等领域亟须依托绿色基础设施的安全韧性支撑，进一步提升全球海洋中心城市对各种资源要素流和多元化海洋产业的吸

引力。与此同时，在海洋产业与运输方面，仍需继续探索绿色基础设施安全韧性的创新支撑策略，为我国全球海洋中心城市的国际竞争力提升和安全韧性发展提供技术指引。UPI

## 参考文献

- [1] 崔聃, 古海波, 宋聚生, 等. “全球海洋中心城市”的内涵、目标和发展策略研究——以深圳为例[J]. 城市发展研究, 2022, 29(1): 66-73.
- [2] ABEL N, GORDDARD R, HARMAN B, et al. Sea level rise, coastal development and planned retreat: analytical framework, governance principles and an Australian case study[J]. Environmental science & policy, 2011, 14(3): 279-288.
- [3] VON GLASOW R, JICKELLS T D, BAKLANOV A, et al. Megacities and large urban agglomerations in the coastal zone: interactions between atmosphere, land, and marine ecosystems[J]. Ambio, 2013, 42(1): 13-28.
- [4] PITMAN S D, DANIELS C B, ELY M E. Green infrastructure as life support: urban nature and climate change[J]. Transactions of the royal society of South Australia, 2015, 139(1): 97-112.
- [5] AR6 synthesis report: climate change 2023[EB/OL]. (2023-03-20)[2024-12-23]. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.
- [6] JONGMAN B, OSMANOGLU D, VAN ZANTEN B T, et al. A catalogue of nature-based solutions for urban resilience[R/OL]. (2021-11-08)[2024-5-13]. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/973641637870669870/>.
- [7] HERMOSO V, MORÁN-ORDÓÑEZ A, LANZAS M, et al. Designing a network of green infrastructure for the EU[J]. Landscape and urban planning, 2020, 196(1): 103732.
- [8] BISSCHOP A. Spatial design as a tool to prevent pluvial flooding: a Rotterdam case study[D]. Groningen: University of Groningen, 2020.
- [9] PAULEIT S, FRYD O, BACKHAUS A, et al. Green infrastructures to face climate change in an urbanizing world[M] // LOFTNESS V. Sustainable built environments. New York: Springer US, 2020: 207-234.
- [10] 古海波, 屈秋实, 缪迪优. 全球海洋中心城市指标体系构建探索[J]. 规划师, 2023, 39(9): 83-88.
- [11] 林小如, 徐铭晖, 文超祥, 等. 基于多尺度协调视角的省级海岸带产业空间陆海统筹规划理论与方法——以福建省为例[J]. 城市规划学刊, 2024(4): 112-118.
- [12] 张春宇. 全球海洋中心城市的内涵与建设思路[J]. 海洋经济, 2021, 11(5): 58-67.
- [13] AKHAVAN M. Revisiting port-cities in the global context[M] // AKHAVAN M, eds. Port geography and hinterland development dynamics: insights from major port-cities of the Middle East. Cham: Springer International Publishing, 2020: 29-49.
- [14] BERLI J, BUNEL M, DUCRUET C. Sea-land interdependence in the global maritime network: the case of Australian port cities[J]. Networks and spatial economics, 2018, 18(3): 447-471.
- [15] SMIT B, WANDEL J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability[J]. Global environmental change, 2006, 16(3): 282-292.
- [16] WANG S, LI W, XING L. A review on marine economics and management: how to exploit the ocean well[J]. Water, 2022, 14(17): 2626.
- [17] VERSCHUUR J, KOKS E E, HALL J W. Ports' criticality in international trade and global supply-chains[J]. Nature communications, 2022, 13(1): 4351.
- [18] 王世福, 练东鑫, 龙海燕, 等. 海洋观视角下海洋城市发展的历史回顾与国际比较[J]. 南方建筑, 2024(10): 1-9.
- [19] WANG Y, CHANG Q, FAN P. A framework to integrate multifunctionality analyses into green infrastructure planning[J]. Landscape ecology, 2021, 36(7): 1951-1969.
- [20] LOVELL S T, TAYLOR J R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States[J]. Landscape

- ecology, 2013, 28(8): 1447-1463.
- [21] KIM D, SONG S K. The multifunctional benefits of green infrastructure in community development: an analytical review based on 447 cases[J]. Sustainability, 2019, 11(14): 3917.
- [22] LENNON M, SCOTT M, O'NEILL E. Urban design and adapting to flood risk: the role of green infrastructure[J]. Journal of urban design, 2014, 19(5): 745-758.
- [23] TZOULAS K, KORPELA K, VENN S, et al. Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review[J]. Landscape and urban planning, 2007, 81(3): 167-178.
- [24] 戴伟, 孙一民. 三角洲河口韧性防洪排涝设施规划研究——以明珠湾横沥岛为例[J]. 城市规划, 2022, 46(6): 113-124.
- [25] 林小如, 吕一平, 洪世健, 等. 海岸带陆海耦合度测评及其优化策略研究——以厦门市海岸带为例[J]. 城市规划, 2022(3): 54-62.
- [26] HEIN C, VAN DE LAAR P TH. The separation of ports from cities: the case of Rotterdam[M] // CARPENTER A, LOZANO R, eds. European port cities in transition: moving towards more sustainable sea transport hubs. Cham: Springer International Publishing, 2020: 265-286.
- [27] Port of Rotterdam Authority. nature and biodiversity in the ports[EB/OL]. [2024-05-08]. <https://www.portofrotterdam.com/en/to-do-port/nature-in-the-port>.
- [28] VAN DOOREN N. Port vision 2030 shows the way for the port of Rotterdam[J]. Port technology international, 2012, 53: 36-40.
- [29] PAALVAST P, VAN DER VELDE G. Long term anthropogenic changes and ecosystem service consequences in the northern part of the complex Rhine-Meuse estuarine system[J]. Ocean & coastal management, 2014, 92: 50-64.
- [30] Port Economics, Management and Policy. Evolution of the port of Rotterdam[EB/OL]. (2020-01-05)[2024-10-31]. <https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part3/changing-geography-of-seaports/evolution-port-rotterdam/>.
- [31] Green network Hamburg[EB/OL]. (2020)[2024-05-08]. <https://www.hamburg.com/residents/green/11836450/green-network/>.
- [32] ACCIARO M, RENKEN K, DIRZKA C. Integrated port cities: the case of Hamburg[M] // CARPENTER A, LOZANO R, eds. European port cities in transition: moving towards more sustainable sea transport hubs. Cham: Springer International Publishing, 2020: 287-301.
- [33] KAMSTRA M. Aiming for resilience: enhancing citizen involvement in flood risk management with social capital—a Hamburg and London case study[D]. Groningen: University of Groningen, 2015.
- [34] SLOB A F L, GEERDINK T R A, RÖCKMANN C, et al. governance of the Wadden Sea[J]. Marine policy, 2016, 71: 325-333.
- [35] 90 Freizeittipps im Grünen[EB/OL]. (2022-06)[2024-05-08]. <https://www.hamburg.de/wandern-im-gruenen/16328088/broschuere-gruenes-netz/>.
- [36] The ocean economy in 2030[EB/OL]. (2016-04-27)[2024-12-23]. [https://www.oecd.org/en/publications/the-ocean-economy-in-2030\\_9789264251724-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/the-ocean-economy-in-2030_9789264251724-en.html).
- [37] BRAND E, RAMAEKERS G, LODDER Q. Dutch experience with sand nourishments for dynamic coastline conservation - an operational overview[J]. Ocean & coastal management, 2022, 217: 106008.
- [38] Sand Motor Delfland Coast[EB/OL]. [2024-05-08]. <https://www.ecoshape.org/en/pilots/the-delfland-sand-engine-4/>.
- [39] Sand Motor - building with nature solution to improve coastal protection along Delfland coast(the Netherlands)-Discover the key services, thematic features and tools of Climate-ADAPT[EB/OL]. (2019-02-15)[2024-05-08]. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/sand-motor-2013-building-with-nature-solution-to-improve-coastal-protection-along-delfland-coast-the-netherlands>.
- [40] Rijkswaterstaat, Provincie Zuid-Holland, EcoShape. Zandmotor data/Sand Motor data[DB/OL]. [2024-05-08]. [https://data.4tu.nl/collections/\\_/5065412/1](https://data.4tu.nl/collections/_/5065412/1).
- [41] Waste statistics and overall recycling[EB/OL]. (20250313)[2025-05-08]. <https://www.nea.gov.sg/our-services/waste-management/waste-statistics-and-overall-recycling>.
- [42] Solid waste management infrastructure[EB/OL]. (2024-05-29)[2024-12-21]. <https://www.nea.gov.sg/our-services/waste-management/waste-management-infrastructure/solid-waste-management-infrastructure>.
- [43] “Long Island” plans for coastal protection[EB/OL]. (2025-05-09)[2025-05-09]. <https://www.ura.gov.sg/Corporate/Event/Long-Island>.
- [44] Dutch Water Sector. Room for the river programme Dutch Water Sector[EB/OL]. (2019-04-15)[2024-05-08]. <https://www.dutchwatersector.com/news/room-for-the-river-programme>.
- [45] 王世福, 刘联璧, 刘铮. 本土都市主义的概念模型及中国式规划前瞻[J]. 城市规划, 2024, 48(12): 38-46, 63.

(本文编辑:王暄)



本文更多增强内容扫码进入